**Zeitschrift:** Bericht über das Geobotanische Forschungsinstitut Rübel in Zürich
**Herausgeber:** Geobotanisches Forschungsinstitut Zürich
**Band:** - (1958)

**Artikel:** Wasserhaushalt und Durchlüftung im Boden
**Autor:** Richard, Felix
**Kapitel:** 4: Die Durchlüftung des Bodens
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-377575

**Nutzungsbedingungen**
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 10.12.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

80 cm Tiefe, weshalb hier ein Wasserstau entsteht. Durch diesen Stau wird auch die Wasserbewegung in den Grobporen von 0–60 cm Tiefe unterbunden. Der Boden ist deshalb nicht normal drainiert, er ist wechselfeucht (im Winter wassergesättigt, im Sommer durch die Transpiration der Pflanzen verübergehend partiell trocken) oder dauernd vernässt. Nicht normal drainierte Böden haben keine Feldkapazität, die der Definition von VEIHMEYER und HENDRICKSON (1931) entspricht.

Das Beispiel zeigt, dass die Ursache der Wechselfeuchtigkeit durch die Untersuchung der Porengrössenverteilung bestimmt werden kann.

### *4. Die Durchlüftung des Bodens*

Die Bodendurchlüftung hat neben reiner wissenschaftlicher Bedeutung für uns ein besonderes praktisches Interesse. In ausgedehnten Waldgebieten der Schweiz sind die Böden so schlecht durchlüftet, dass an den Waldbeständen Wuchsstörungen oder mindestens unbefriedigender Zuwachs beobachtet wird. Häufig versucht man durch Entwässerung den Lufthaushalt zu verbessern.

Der Lufthaushalt eines Bodens wird unter sonst vergleichbaren Bedingungen durch die Porengrössenverteilung und durch die Art des pflanzlichen Wasserentzuges beeinflusst:

1. Die Porengrössenverteilung ist für einen gegebenen Boden kennzeichnend. Für die Durchlüftung sind besonders Menge und Art der Grobporen wesentlich, vorausgesetzt, dass es sich um einen normal drainierten Boden handelt (vgl. Sorptionskurve weiter oben).

2. Durch den pflanzlichen Wasserentzug werden, ausgehend von der Feldkapazität, in einem normal drainierten Boden Mittelporen entwässert. Um den Betrag der entwässerten Mittelporen wird deshalb periodisch der Luftgehalt des Bodens vergrössert. Dringt wieder Regenwasser in den Boden ein, dann füllen sich, soweit das Wasser eindringen kann, wieder Mittelporen. Bei genügend Regen kann wieder Feldkapazität erreicht werden.

Zur Kennzeichnung des Wasser- und Lufthaushaltes natürlich gelagerter Waldböden genügt es deshalb nicht, allein den Grob- und Mittelporenanteil zu bestimmen. Hinzu kommt das Studium der Durchlüftungsveränderung als Funktion der Jahreszeit.

Für viele experimentelle Durchlüftungsversuche ist aber ein natürlich gelagerter Boden in seinen Eigenschaften zu variabel. Häufig ist es für systematische Untersuchungen zweckmässiger, an Modellböden bestimmte Faktoren konstant zu halten und so z. B. bei gegebener Struktur den Einfluss des Wassergehaltes oder bei bestimmtem Wassergehalt den Einfluss der Struktur auf die Bodendurchlüftung zu untersuchen.

Sollen Bäume in einem Waldboden normal wachsen, dann muss er genügend durchlüftet sein. Nimmt eine Pflanze Sauerstoff auf, dann wird der Sauerstoffvorrat im Boden vermindert oder aufgebraucht, wenn nicht genügend Sauerstoff nachfliessen kann. Das Sauerstoffangebot für die Wurzeln wird durch die Nachlieferungsgeschwindigkeit im Boden und weniger durch den absoluten Sauerstoffgehalt bestimmt. Die Geschwindigkeit hängt weitgehend von der Struktur, der Porengrössenverteilung und vom Wassergehalt des Bodens ab. In den folgenden Untersuchungen betrachten wir deshalb ausschliesslich die Nachlieferungsgeschwindigkeit von Sauerstoff im Boden.

Nach Baver (1956), werden annähernd $^9/_{10}$ des Sauerstoffes im Boden durch die Diffusion transportiert, während Vorgänge wie Luftdruckschwankungen, Temperaturgradiente, Wind, Regen diskontinuierlich wirken und zusammen nur ca. $^1/_{10}$ der Sauerstoffbewegung ausmachen. Die Diffusion kontrolliert mit hoher quantitativer Annäherung den gesamten Sauerstoffnachschub im Boden. Diese Feststellung vereinfacht die Untersuchungsmethodik, indem zur Bestimmung der Sauerstoffversorgung nur die Diffusion berücksichtigt werden muss.

*Versuchsdose mit Diffusionssonde und Messchema*

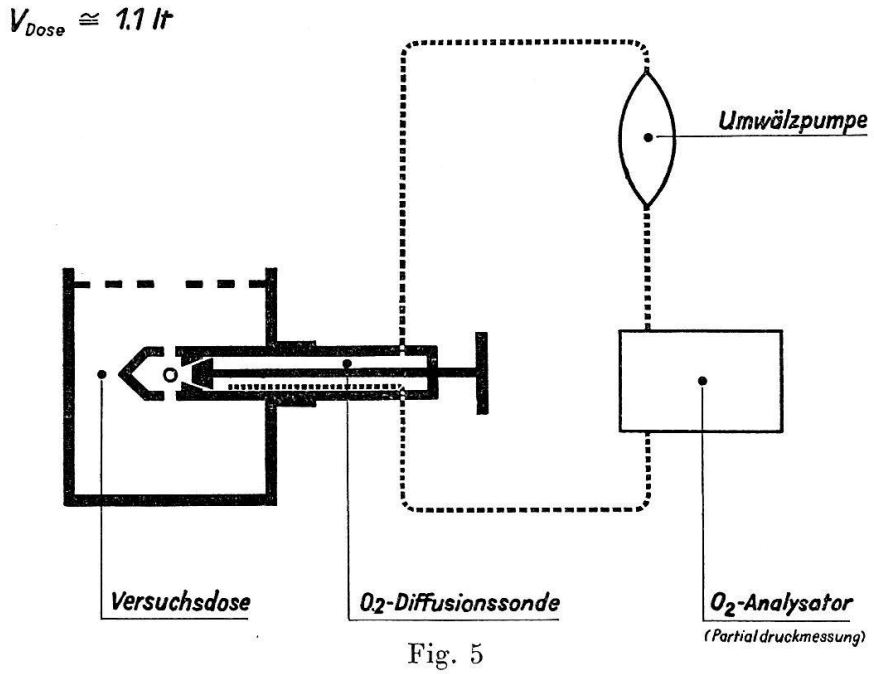


Fig. 5

Aus den Arbeiten von Penman (1940) und Taylor (1949) geht hervor, dass zwischen der Sauerstoffdiffusion und der Porosität des Bodens ein linearer Zusammenhang besteht. Für Böden, die kein freies Wasser führen, hat Raney (1949) eine Diffusionssonde vorgeschlagen, die im Felde und im

Laboratorium auf einfache Art angewendet werden kann. In Figur 5 ist das Messchema dargestellt: Ein mit einem Ventil versehenes Rohr wird in jene Zone des Bodens gesteckt, wo die Sauerstoffdiffusion gemessen werden soll. Das Ventil wird geschlossen, die Sonde mit Stickstoff gefüllt. Nun öffnet man das Ventil, lässt während 90–120 Minuten $O_2$ in die Sonde diffundieren und

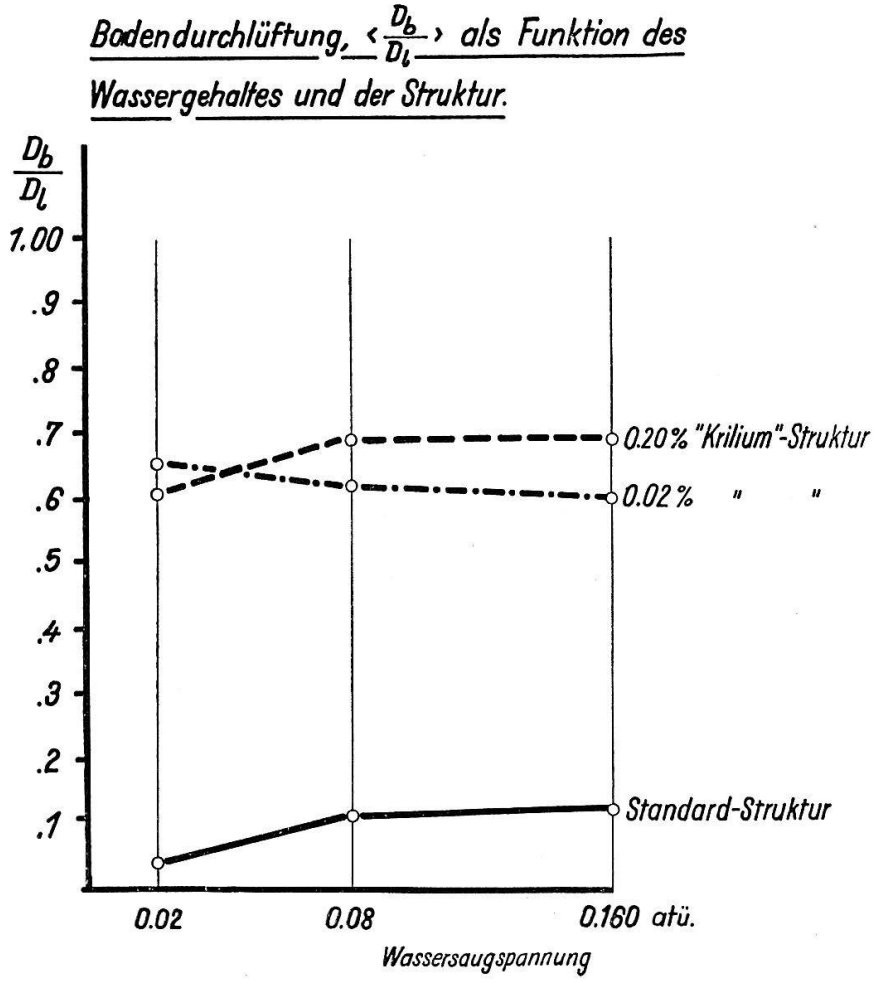


Fig. 6

schliesst das Ventil wieder. Die Sonde wird an eine Umwälzpumpe mit $O_2$-Analysator angeschlossen; das Gasgemisch umgewälzt, der $O_2$-Partialdruck abgelesen und die Diffusionsgeschwindigkeit $D_b$ (Diffusion im Boden) bestimmt. Damit mehrere Sonden gleichzeitig verwendet und ihre Messwerte verglichen werden können, wird für jede Sonde auch die $O_2$-Diffusion $D_l$, in Luft bestimmt. Bildet man für jede Messung im Boden den Koeffizienten $D_b/D_l$, so erhält man die relative Diffusionsgeschwindigkeit, bezogen auf die $O_2$-Diffusion in Luft.

Die relative Diffusionsgeschwindigkeit von Sauerstoff im Boden ist kleiner als 1.0. In folgendem Beispiel untersuchen wir den Einfluss der Boden-

durchlüftung auf das Wachstum von Fichtenkeimlingen, wobei der Wurzelentwicklung besondere Beachtung geschenkt wird.

Als Versuchsboden wurde „Zugerberg III" gewählt. Ausgehend vom Zustand sehr schlechter Bodendurchlüftung, erzeugt durch feinporenreiche Struktur und hohen Wassersättigungsgrad, wurden die Versuchsbedingungen

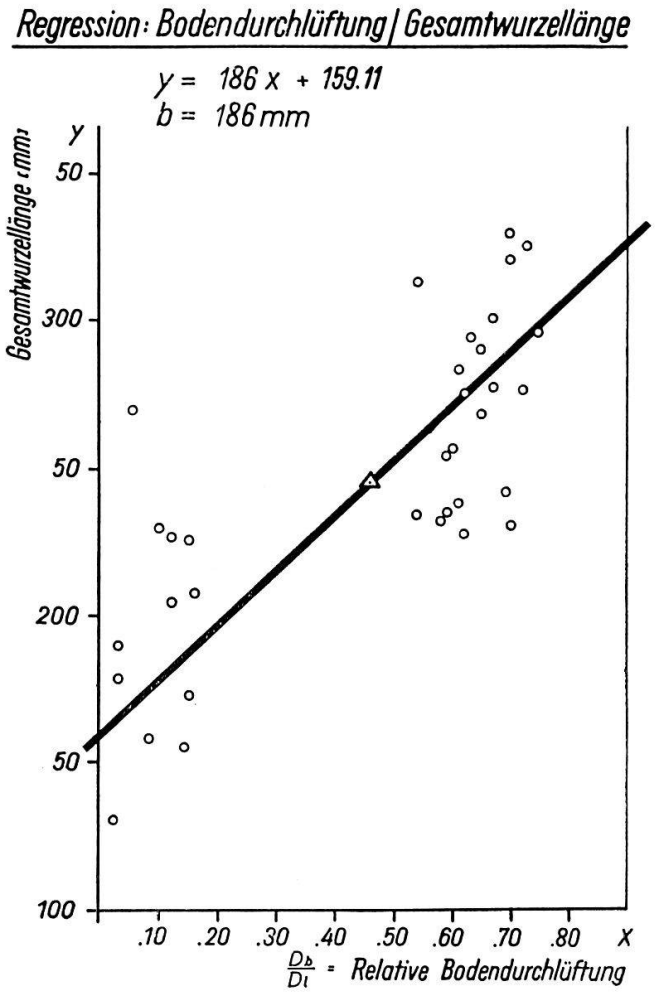


Fig. 7

durch Vergrösserung des Grobporenanteils und durch Verringerung des Wassergehaltes im Boden so verändert, dass er auch mit besserer Durchlüftung im Versuch zur Verfügung stand. Die Struktur wurde durch Zugaben von 0,02 bzw. 0,20% „Krilium" durchlässiger gemacht und der Wassersättigungsgrad durch Erhöhung der Saugspannungen von 0,020 auf 0,080 und auf 0,160 atü verkleinert. Über die speziellen Versuchsanlagen vergleiche man Richard (1959).

Die relative Bodendurchlüftung $\frac{D_b}{D_l}$ als Funktion des Wassergehaltes und der Struktur ist in Figur 6 angegeben. Durch Zusatz von 0,020 und 0,20%

„Krilium“ wurde die relative Bodendurchlüftung je nach Wassersaugspannung angenähert 6–10 mal vergrössert. Diese Vergrösserung bedeutet auch eine Verbesserung der Bodendurchlüftung, was sich positiv auf die Wurzelentwicklung auswirkt.

Die statistische Prüfung hat ergeben, dass im Boden mit hoher Wassersättigung die Gesamtwurzelmenge sehr stark von der Bodendurchlüftung abhängig ist (Figur 7). Auffallend ist auch, dass durch Veränderung der Bodenstruktur die Bodendurchlüftung stärker beeinflusst wurde, als durch die Variation der Saugspannung. Folgende Relativzahlen der Gesamtwurzellängen von Fichtenkeimlingen bringen das zum Ausdruck:

| Wassergehalt entsprechend | Standard-struktur | | 0,020% „Krilium“-Struktur | | 0,20% „Krilium“-Struktur |
|---|---|---|---|---|---|
| 0,020 atü | 1 | : | ~1.8 | : | ~1.8 |
| 0,080 atü | 1 | : | ~1.3 | : | ~1.6 |
| 0,160 atü | 1 | : | ~1.2 | : | ~1.6 |

Besonders in unvollkommen drainierten Böden stellt sich die Frage nach dem minimalen Sauerstoffnachschub, der im Boden für gutes Wurzelwachstum nötig ist. Bis heute sind mit Waldbäumen wenig derartige Untersuchungen systematisch durchgeführt worden. Es ist z. B. in Entwässerungsgebieten ein aktuelles bodenkundliches Problem, ob durch die Grabenwirkung tatsächlich die Sauerstoffversorgung so verbessert wird, dass die Wurzeln nicht nur nahe der Oberfläche, sondern auch in grösseren Bodentiefen befriedigend wachsen können. Es stellt sich das Problem, bei welcher minimaler Sauerstoffdiffusion können die Wurzeln sich noch entwickeln, und sind diese Minimalansprüche von Baumart zu Baumart gleich oder verschieden.

In unserem Versuch wurde festgestellt, dass bei einer relativen Sauerstoffdiffusion im Boden („Bodendurchlüftung“) von $\frac{D_b}{D_l} = 0{,}06–0{,}12$ die Entwicklung von Haupt- und Nebenwurzeln sehr schlecht war (Richard 1959). Auch Taylor (1949, cit. in Lemon und Erickson 1952) kommt zur Feststellung, dass ein $\frac{D_b}{D_l}$-Wert von 0,111 für die Sauerstoffdiffusion in der Gasphase des Bodens kritisch sein kann. Die Pflanzen beginnen an Sauerstoffmangel zu leiden.

Durch weitere Versuche soll festgestellt werden, wie weit der Wert $\frac{D_b}{D_l} \sim 0{,}1$ allgemein für den Sauerstoffnachschub in einem Boden wachstumsbegrenzend ist.

*Zusammenfassung*

Das Wasser im Boden verhält sich je nach der Intensität seiner Bindung ganz verschieden. Bestimmte Fraktionen des Bodenwassers können in normal drainierten Böden durch die Gravitationskraft in tiefere Zonen verlagert, andere können durch die Pflanzenwurzeln aufgenommen, andere nicht aufgenommen werden. Die Bindung des Wassers im Boden entscheidet über sein verschiedenes Verhalten. Die Sorptionskurve gibt Auskunft über die Beziehungen zwischen Wassergehalt im Boden und Bindung. Der permanente Welkepunkt (PWP) und die Feldkapazität (FC) sind wichtige Punkte der Sorptionskurve, sie unterteilen das Bodenwasser in das leicht bewegbare Gravitationswasser, in das pflanzenverwertbare Wasser und in das nicht verwertbare Wasser.

Die Anteile dieser drei „Wasserarten" hängen von der Bodenstruktur und von der Porengrössenverteilung ab. Die Porengrössenverteilung eines Bodens kann aus seiner Sorptionskurve bestimmt werden. Grobporen enthalten in einem normal drainierten Boden in der Regel Luft, Mittelporen enthalten das pflanzenverwertbare Wasser, Feinporen enthalten das nicht verwertbare Wasser.

Die Menge Grobporen entscheiden über den Charakter der Bodendurchlüftung. Besonders in unvollkommen durchlässigen Böden, wo die Grobporen diskontinuierlich und stellenweise in zu kleiner Menge vorhanden sind, kann die mangelhafte Bodendurchlüftung zum wachstumshemmenden Faktor werden. Ein wichtiger Vorgang der Bodendurchlüftung ist der Sauerstoffnachschub. Dieser kann mit sehr grosser Annäherung quantitativ durch die Diffusion gemessen werden.

Die Diffusionssonde nach Raney eignet sich gut für Messungen im Laboratorium und im Felde. Es wird die Abhängigkeit der $O_2$-Diffusion im Modellboden „Zugerberg III" von der Bodenstruktur und von der Wasserbindung untersucht. Das Wachstum der Wurzeln von Fichtenkeimlingen war bei einer relativen Sauerstoffdiffusion (bezogen auf Luft) von $\frac{D_b}{D_l} \sim 0{,}1$ infolge zu geringer Bodendurchlüftung sehr stark reduziert. Das bei zu geringer Sauerstoffdiffusion entwickelte Wurzelwerk war für ein gesundes Weiterwachsen der Keimlinge ungünstig. Es wird angenommen, dass bei einer relativen Diffusion von $\frac{D_b}{D_l} \sim 0{,}1$ ein Grenzwert entstehen kann, der den Pflanzen das Wachstum infolge Sauerstoffmangel im Boden unter Umständen verunmöglicht.

## *Literaturverzeichnis*


BAVER, L. D., 1956: Soil Physics. John Wiley & Sons, Inc. New York, Chapman & Hall, Limited, London.

BODMAN, G. B. und EDLEFSON, N. E., 1934: The soil-moisture system. Soil Science, **38**, No 6.

BRIGGS, L. J. and MCLANE, J. W., 1907: The moisture equivalent of soils. U.S. Dept. Agr. Bur. Soils Bull. 45.

BRIGGS, L. J. and SHANTZ, H. L., 1912: The wilting coefficient for different plants and its indirect determination. US. Dept. Agr. Bur. Plant Ind. Bull. 230.

BUCKINGHAM, E., 1907: Studies on the movement of soil moisture. U.S. Dept. Agr. Bur. Soils Bull. 38.

FREI, Erwin, 1953: Das Bodenwasser, seine Haftfestigkeit und Beweglichkeit. Landw. Jahrb. d. Schweiz. Heft 3.

FURR, J. R., und REEVE, J. O., 1945: J. Agr. Research, 71, 149–70.

LEMON, E. R. and ERICKSON, A. E., 1952: The Measurement of Oxygen Diffusion in the Soils with a Platinum Microelectrode. Soil Sci. Soc. Proc. 16: 160–163.

PENMAN, H. L., 1940a: Gas and vapour movements in the soil: I. The diffusion of vapours through porous solids. Jour. Agr. Sci. 30:437–462.

PENMAN, H. L., 1940b: Gas and vapour in the soil: II. The diffusion of carbon dioxide through porous solids. Jour. Agr. Sci., 30:570–581.

RANEY, W. A., 1949: Field measurement of oxygen diffusion through soil. SSSA-Proceedings, **14**, :61–65.

RICHARD, F., 1953a: Physikalische Bodeneigenschaften natürlich gelagerter Rissmoräneböden unter verschiedener Bestockung. Schweiz. Z. Forstw. Nr. 4/5.

RICHARD, F., 1953b: Über die Verwertbarkeit des Bodenwassers durch die Pflanze. Mitt. schweiz. Anst. forstl. Versuchsw. XXIX., 1.

RICHARD, F., 1955: Über Fragen des Wasserhaushaltes im Boden. Schweiz. Z. Forstw., 4.

RICHARD, F., 1959: Über den Einfluss des Wasser- und Luftgehaltes im Boden auf das Wachstum von Fichtenkeimlingen. Mitt. schweiz. Anst. forstl. Versuchsw. **35**, 1.

RICHARD, F. und FEHR, R., 1954: Physikalische Bodeneigenschaften einiger Pappelstandorte im schweizerischen Mittelland. Mitt. schweiz. Anst. forstl. Versuchsw. **31**, 1.

RICHARDS, L. A., 1928: The usefulness of capillary potential to soil moisture and plant investigators. Jour. Agr. Res. 37:719–742.

SCHOFIELD, R. K., 1935: The pF of the water in soil. Trans. 3d Intern. Congr. Soil Sci. 2:37–48.

TAYLOR, St. A., 1949: Oxygen Diffusion in porous media as a measure of soil aeration. SSSA, Proceedings, **14**.

VEIHMEYER, F. J. and HENDRICKSON, A. H., 1931: The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils. Soil Sci., 32:181–193.

VEIHMEYER, F. J. and HENDRICKSON, A. H., 1948: The permanent wilting percentage as a reference for the measurement of soil moisture. Trans. Unions. Am. Geophys. **29**:887–891.

VEIHMEYER, F. J. and HENDRICKSON, A. H., 1949: Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of Soils. Soil Science **68**.

VEIHMEYER, F. J. and HENDRICKSON, A. H., 1950: Soil moisture in relation to plant growth. Annual review of plant physiology.